



МАТЕРИАЛЫ VI МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

2

Майкоп
17 – 21 мая 2021 г.



**МАТЕРИАЛЫ
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Часть 2

РЕСПУБЛИКА АДЫГЕЯ, г. Майкоп
17-21 мая 2021 г.

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Maykop State Technological University»
Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tver State University»
Institute of Atmospheric Physics A.M. Obukhov of the Russian Academy of Sciences
Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research
University «Moscow Institute of Electronic Technology»
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Moscow State University named after M.V. Lomonosov»
Office of Environmental Protection, Natural Resources of the Republic of Adygeya

FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS OF GEOLOGY, GEOPHYSICS AND GEOECOLOGY USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

VI International Scientific and Practical Conference

Part 2

**Republic of Adygeya, Maykop
May 17-21, 2021**

УДК [551+550.83+574]:004:061.3(470.621)

ББК 20.1

Ф-94

Редакционная коллегия:

Куижева С.К. – д-р экон. наук, доцент

Овсянникова Т.А. – д-р филос. наук, профессор

Беданокон М.К. – д-р экон. наук, профессор

Дёмина Т.И. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Шевякова О.П. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Ф-94 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Часть 2. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2021. – 199 с.

ISBN 978-5-907004-75-7

ISBN 978-5-907004-77-1 – Ч.2

В сборнике представлены материалы участников научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», организованной на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» совместно с Институтом экологии Академии наук Абхазии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», при поддержке ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, ФГБУН Геофизический центр Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», при участии Управления по охране окружающей среды и природным ресурсам Республики Адыгея, проведённой в г. Майкопе 17 – 21 мая 2021 г.

ISBN 978-5-907004-77-1



УДК [551+550.83+574]:004:061.3(470.621)

ББК 20.1

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2021

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ

^{1,2}И.А. Репина, ²В.М. Степаненко, ¹Н.В. Вазаева, ³Г. Ганбат

repina@ifaran.ru

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

Россия, г. Москва

³Информационно-исследовательский институт метеорологии, гидрологии и окружающей среды, Монголия, Улаанбаатар

Аннотация. В статье представлены данные дистанционного зондирования в ИК и видимом о формировании мезомасштабного вихря над монгольским озером Убсу-Нур. Рассматриваются метеорологические условия возникновения вихря, его влияние на ледообразование и погодные условия прибрежных территорий. Вихрь плохо разрешается реанализом, но перспективен для оценки его параметров с использованием мезомасштабных моделей.

Ключевые слова. Озерные эффекты, мезомасштабные циркуляции, холодные вторжения, дистанционное зондирование.

Озера являются важным элементом земной климатической системы, покрывая около 3% поверхности суши. Взаимодействие между озером и атмосферой оказывает существенное влияние на региональный климат [1]. Из-за маленького альбедо, высокой теплоемкости и небольшой шероховатости поверхности озера режим обмена теплом и импульсом озера и атмосферы существенно отличается от режима обменных процессов на суше [2]. Это приводит к пространственной неоднородности радиационных и турбулентных потоков в регионах, где озера покрывают большую часть поверхности Земли [3,4]. Кроме того, большие озера уменьшают суточную изменчивость температуры воздуха в регионе [5]. Они могут служить значимым источником поступления в атмосферу тепла, влаги, а также парниковых газов, в особенности, углекислого газа и метана. Существование мезомасштабных явлений над озерами хорошо известно. Контраст между температурой озера и суши приводит к формированию озерного бриза, который меняет местное поле ветра [6]. Озерный бриз может взаимодействовать с топографией и фоновым ветром и вызывать конвективные процессы [7]. При наличии горного рельефа возможно формирование кататических ветров, в том числе и сильных. Летом механизмы бризовой и горно-долинной циркуляций на прибрежных склонах усиливают друг друга, что может приводить к высоким локальным значениям скорости ветра в дневное время. В умеренных и высоких широтах в осенний период поверхность озера оказывается теплее выхолаженных над сушей воздушных масс, что при холодных вторжениях воздуха с суши на поверхность озера приводит к формированию конвективных циркуляций. Возникающие при этом облачные структуры принимают форму как классических конвективных валиков, так и

мезомасштабных вихрей [8-10], а на подветренной стороне озёр возможно выпадение рекордных сумм осадков. Это явление хорошо известно на примере Великих Американских озёр [11,12] и Великого Соленого озера в штате Юта [13-15], где «озерные снегопады» наносят большой удар по экономике и транспортным системам регионов: из-за влияния озёр годовое количество осадков увеличивается на 200% по сравнению с соседними районами [16]. Мезомасштабные явления над озерами и окружающими территориями могут создавать опасные явления для авиации (при взлёте и посадке самолётов), морского транспорта и сельского хозяйства. При наличии горного рельефа и резких сезонных колебаний температуры воздуха вероятность возникновения мезометеорологических процессов усиливается. С этой точки зрения большие озера Восточной Сибири и Северной Монголии, представляют особый интерес для проведения исследований. В Сибири и Монголии существуют и солёные озера (например, оз. Чаны в Западной Сибири, оз. Убсу-Нур в Северной Монголии), процессы взаимодействия с атмосферой которых остаются исследованными недостаточно [17,18].

Например, обнаруженный нами по спутниковым данным мезомасштабный вихрь, ежегодно формирующийся над озером Убсу-Нур в осенний период [8,17] оказывает существенное влияние на формирование ледяного покрова и, вероятно, по аналогии с Великими Американскими озерами [9], приносит экстремальные осадки, но найти даже географическое описание этого явления нам не удалось, при том, что его повторяемость и локализация гораздо более явная, чем у подобных явлений на Американских озерах.

Для анализа динамики вихря использовались спутниковые изображения облачности в ИК диапазоне спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, 31 канал, разрешение 1 км в надире), полученные с веб-сайта LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System, https://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images/), а также данные глобальных реанализов NCEP-NCAR, ERA-Interim, MERRA, CFSR.

Озеро Убсу-Нур (монг. Увс нуур, Увс) – крупнейшее озеро Монголии с площадью 3350 км², располагающееся на северо-западе страны. Вода в озере солёная. Со второй половины XX века средняя минерализация вод озера имела тенденцию к падению (с 180 мг/л в 1930 г. до 140 мг/л в 2000 г. Максимальная глубина озера составляет 22 м. Климат в бассейне озера резко-континентальный с малым годовым количеством осадков (143 мм) и выраженным годовым ходом температуры воздуха (средняя температура июля 20⁰С, января -32⁰С).

В ноябре на фоне холодных вторжений на относительно теплую поверхность озера формируется интенсивный мезомасштабный вихрь размером несколько десятков километров. По своим свойствам (взрывной характер формирования, наличие глаза) вихрь идентичен полярным мезоциклонам и предполагает большие скорости ветра. Ветер разрушает тонкий новообразованный ледяной покров. Холодные вторжения формируют кататические потоки с горных хребтов на западе и юге озера (рис. 1).

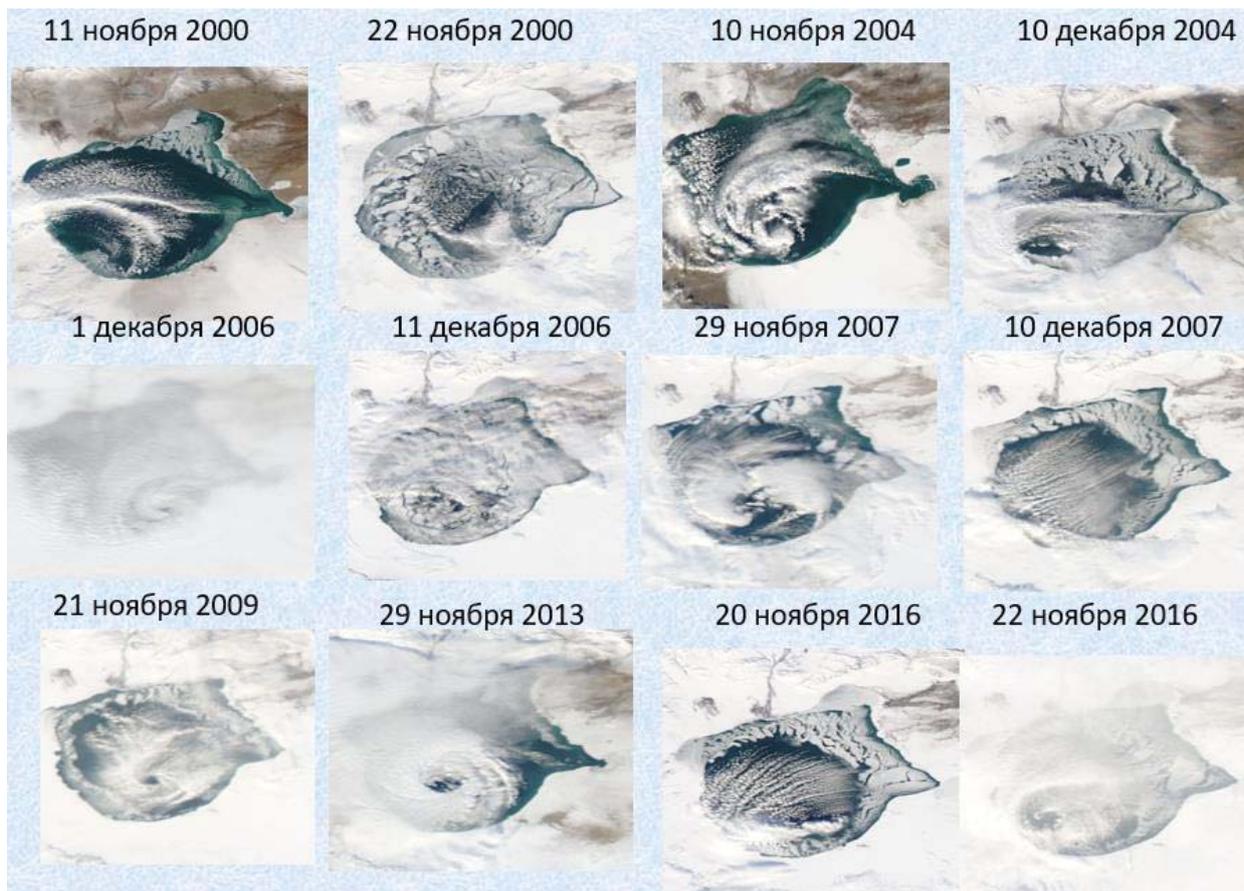


Рис. 1. Снимки скатерометра MODIS в видимом диапазоне. Район монгольского озера Убсу-Нур

Вихрь охватывает практически все озеро, может существовать до нескольких суток (рис. 2) и, в частности, способствует позднему установлению ледяного покрова на озере, разрушая тонкий молодой лед.

Анализ метеорологических условий на ближайшей к озеру метеорологической станции Улангом показывает, что формирование вихря происходит на фоне падения температуры воздуха и усиления ветра. Реальную скорость ветра без привлечения мезомасштабного моделирования установить проблематично. Реанализ MERRA при существовании вихря показывает ветровую аномалию в районе озера, но дает явно заниженные скорости ветра. Реанализ ERA5 удовлетворительно воспроизводит общий характер наблюдаемой на спутниковом снимке циркуляции. В реанализе NCEP наблюдается повышение температуры воздуха над озером, но характерных изменений циркуляции не заметно.

Для численного моделирования была выбрана открытая исследовательская негидростатическая мезомасштабная атмосферная модель WRF-ARW – Weather Research and Forecasting (Версия 4.1.1) [19]. Данная модель является одной из наиболее универсальных и отлаженных открытых систем моделирования атмосферы. Численный эксперимент проведен с подбором схем турбулентности, наиболее полно и адекватно воспроизводящих наблюдаемую картину, и позволяет проанализировать поля

скорости, температуры, долю облачного покрова, проследить направление циркулирующих потоков.

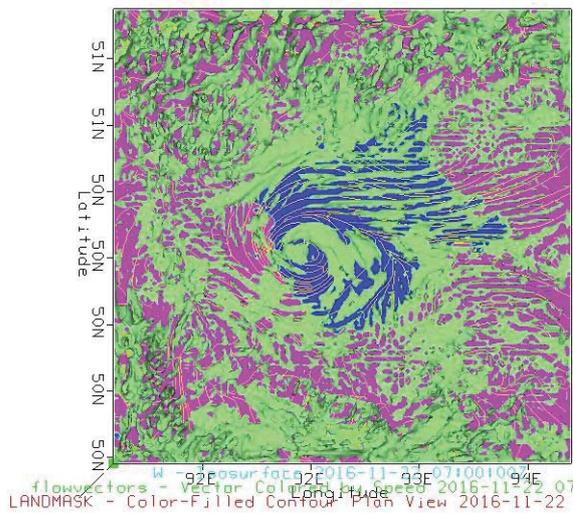


Рис. 2. Эволюция вихря на озере Убсу-Нур на снимках в видимом и ИК- диапазоне

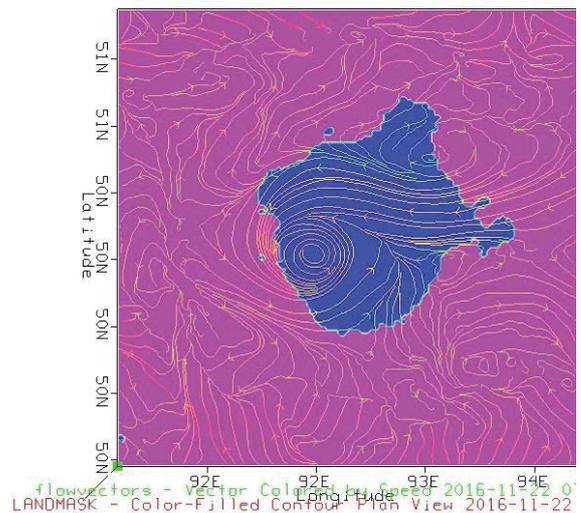
Численное моделирование случая проводилось на расчетной области с вложенными сетками, 540×540 км с шагом 9 км, 219×219 км с шагом 3 км, 151×151 км с шагом 1 км. Для первой области использовался спектральный наджинг («spectral nudging»). В центре области расположено озеро УВС-Нуур – объект исследования. Включен дополнительный блок расчета озер.

Результаты моделирования показывают хорошее совпадение со спутниковыми данными. Рассмотрим моделирование с шагом 1 км для 22 ноября 2016 г., 07 и 08 UTC (см. рис. 1). Изоповерхности вертикальной скорости (0,02 м/с), четко визуализирующие образовавшиеся организованные структуры на рис. 3 (а,г), по аналогии со структурами тропических циклонов можно назвать индикаторами смерчегенеза и конвективной ячейки. На рис. 3б отдельно показаны линии тока горизонтальной скорости ветра, на рис. 3в хорошо визуализируется конвективная ячейка.

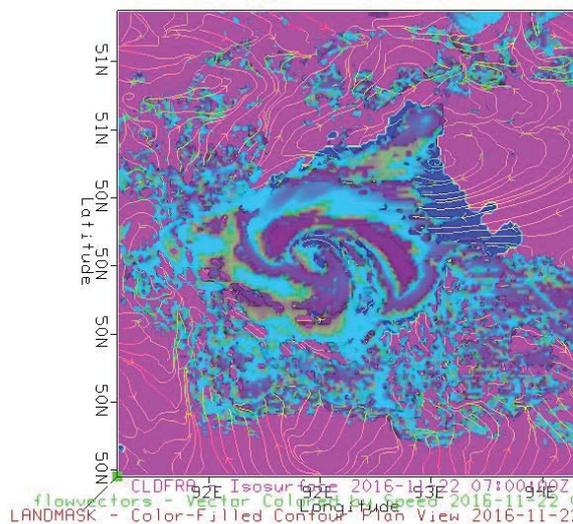
a)



б)



в)



г)

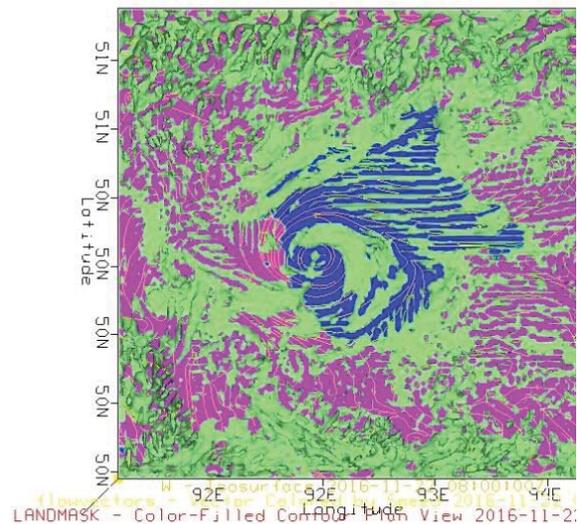


Рис. 3. Моделирование озерного вихря 22 ноября 2016 г. а) Изоповерхности вертикальной скорости для уровней: 800-1000 гПа (0,02 м/с), линии тока горизонтальной скорости на уровне 900 г Па (изменение цвета векторов в зависимости от скорости: желтые – 7 м/с, красные – 11 м/с), б) Линии тока горизонтальной скорости на уровне 900 г Па, в) Доля облачности для уровней: 825-1000 гПа , линии тока горизонтальной скорости на уровне 900 г Па, г) Изоповерхности вертикальной скорости для уровней: 800-1000 гПа (0,02 м/с), линии тока горизонтальной скорости на уровне 900 г Па

Выполненное исследование показывает, что обнаруженный нами по данным дистанционного зондирования озерный вихрь является важной составляющей динамики атмосферы в регионе. Возможно его влияние на влажностный режим прибрежных территорий, а также на время ледостава на озере. Для дальнейшего анализа его динамики и структуры необходимо привлекать мезомасштабное моделирование.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант № 19-55-44028 Монг_т.

Список литературы

1. Adrian R. et al. Lakes as sentinels of climate change // *Limnol. Oceanogr.* 2009. V. 54(6). P. 2283–2297.
2. Bonan G.B. Sensitivity of a GCM simulation to inclusion of inland water surfaces // *J. Clim.* 1995. V. 8(11). P. 2691–2704.
3. Martynov A., Sushama L., Laprise R., Winger K., Dugas B. Interactive lakes in the Canadian Regional Climate Model, version 5: the role of lakes in the regional climate of North America // *Tellus A.* 2012. V. 64.
4. Stepanenko V.M., Martynov A., Johnk K.D., Subin Z.M., Perroud M., Fang X., Beyrich F., Mironov D., Goyette S. A one-dimensional model intercomparison study of thermal regime of a shallow, turbid midlatitude lake // *Geosci. Model Dev.* 2013. V. 6(4). P. 1337.
5. Samuelsson P., Kourzeneva E., Mironov D. The impact of lakes on the European climate as simulated by a regional climate model // *Boreal Environment Research.* 2010. V. 15(2). P.113-129.
6. Samuelsson P., Tjernström M. Mesoscale flow modification induced by land-lake surface temperature and roughness differences // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* 2001. T. 106. №. D12. C. 12419-12435.
7. Gerken, T., Biermann T., Babel W., Herzog M., Ma Y.M., Foken T., Graf H.F. A modelling investigation into lake-breeze development and convection triggering in the Nam Co Lake basin, Tibetan Plateau // *Theor. Appl. Climatol.* 2014. V. 117(1-2). P. 149–167.
8. Репина И.А., Степаненко В.М. Влияние атмосферных процессов на формирование ледового режима озера Убсу-Нур (Монголия) // Шестнадцатая Всероссийская Открытая конференция Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов) Сборник тезисов. ИКИ РАН Москва, 2018. С. 207–207.
9. Forbes G.S., Merritt G.H. Mesoscale Vortices over the Great Lakes in Wintertime Monthly // *Weather Review.* 1984. V. 112(2). P. 377-381.
10. Mulholland J.P., Frame J., Nesbitt S.W., Steiger S.M., Kosiba K.A., Wurman J. Observations of misovortices within a long-lake-axis-parallel lake-effect snowband during the OWLeS Project // *Monthly Weather Review.* 2017. V. 145(8). P. 3265-3291.
11. Bates G.T., Giorgi F., Hostetler S.W. Toward the simulation of the effects of the Great Lakes on regional climate // *Mon. Weather Rev.* 1993. V. 121. P. 1373–1387.
12. Vavrus S., Notaro M., Zarrin A. The role of ice cover in heavy lake-effect snowstorms over the Great Lakes Basin as simulated by RegCM4 // *Monthly Weather Review.* 2013. V. 141(1). P. 148-65.
13. Carpenter D.M. The lake effect of the Great Salt Lake: Overview and forecast problems // *Wea. Forecasting.* 1993. V. 8. P. 181–193.
14. Alcott T., Steenburgh W.J. Orographic influences on a Great Salt Lake-effect snowstorm // *Mon. Wea. Rev.* 2013. V. 141. P. 2432–2450.
15. Steenburgh, W.J., Halvorson S.F., Onton D.J. Climatology of lake-effect snowstorms of the Great Salt Lake // *Mon. Wea. Rev.* 2000. V. 128. P. 709–727.
16. Scott R.W., Huff F.A. Impacts of the Great Lakes on regional climate conditions // *J. Great Lakes Res.* 1996. V. 22. P. 845–863.
17. Степаненко В.М., Репина И.А., Ганбат Г., Даваа Г. Моделирование ледового режима соленых озер // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана.* 2019. Т. 55. № 1. 152–163.
18. Nidhi N., Lin Z. Impacts of salinity parameterizations on temperature simulation over and in a hypersaline lake // *Chinese J. Oceanography Limnology.* 2014. V. 33(41130961). P.790–801.
19. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G. A description of the advanced research WRF version 2. In NCAR Tech. Note 2008.